

# **STUDI GELOMBANG SEISMIK GEMPA VULKANIK GUNUNG SINABUNG UNTUK MENENTUKAN KARAKTERISTIK MEKANISME VULKANIK**

**Rianza Julian, Prof. Dr. Suharno, MS., M.Sc., Ph.D**

Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung

**Abstract** - Mount Sinabung is a stratovolcano mount located in Karo, North Sumatra. Geographically located between 3°10' North Latitude and 98°23,5' East Longitude. This type of explosive volcanic eruptions. Lava flowing from the stratovolcano is usually cool and harden before spreading far due to high viscosity. Magma forming this lava and acidic contain medium to high levels of silica. To observe volcanic earthquakes at Mount Sinabung is used 4 permanent stations are Sukanalu station (SKN), Laukawar (KWR), Sukameriah (SKM), and Mardingding (MRD). Research has been conducted using primary data of volcanic earthquakes Sinabung in 2011 till June 2012. Based on the results of the spread of volcanic earthquake hypocenter obtained, previously has made the process of picking and determining the value to,  $t_p$  with error  $<0.2$ . Results hypocenter distribution of volcanic earthquakes at Mount Sinabung is as much as about 500 volcanic earthquakes, and its earthquakes are concentrated at a depth of 0 to 6 km asl. Mechanisms of volcanic magma chamber at Mount Sinabung is at a depth of about 12 km above sea level, is the crack area (low frequency) and the area around the magma chamber (high frequency). Results of the average speed of P waves from the source to the receiver by a travel time curve is at 3.33 km/s. The dominant frequency of volcanic earthquakes Sinabung frequency value at station SKN smallest to largest on the station SKM is 0.28 Hz to 2.18 Hz.

**Keywords :** Stratovolcano, Volcanic Earthquakes, Stations, Hypocenter, Magma Chamber, Travel Time, Frequency

## **PENDAHULUAN**

Proses *fluida* (cairan) dinamis yang terjadi karena adanya gradien suhu dan tekanan magma dapat menimbulkan gelombang gempa yang berasal dari proses resonansi retakan yang terisi cairan magma. Sebelum terjadi letusan gunungapi, kegiatan magma meningkat. Dengan peningkatan magma menyebabkan tekanan terhadap batuan di

sekitar kantong magma yang menimbulkan getaran seismik. Dengan demikian bila gempa vulkanik meningkat dapat ditandai bahwa gunungapi akan meletus, walaupun hubungan ini tidak selalu terjadi.

Jaringan pemantauan gempa di gunungapi jauh lebih kecil dan lebih sederhana karena sebaran lokasi pusat gempa sangat

terbatas, yaitu di gunungapi dan sekitarnya (Siswowidjojo, 1995).

Tujuan dari penelitian ini adalah:

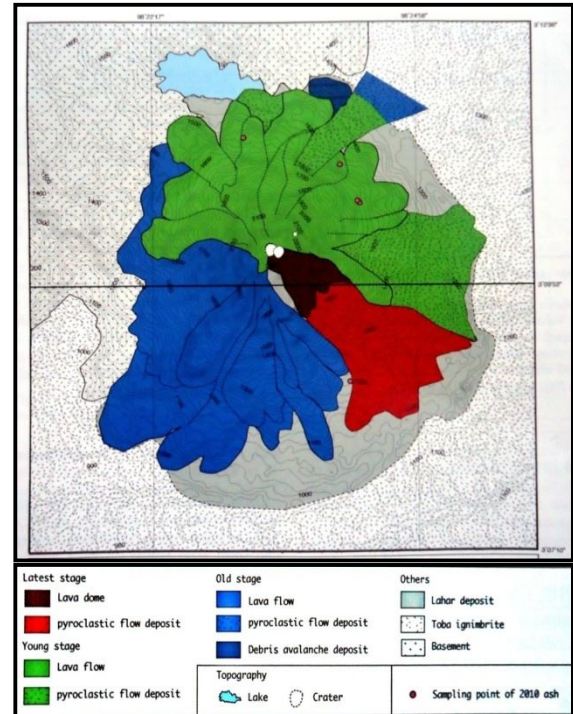
1. Menentukan lokasi hiposenter gempa pada tahun 2011 s.d juni 2012
2. Menentukan mekanisme vulkanik di Gunung Sinabung.
3. Menganalisis frekuensi secara berurutan berdasarkan *range* frekuensi.
4. Menentukan kecepatan rata-rata masing-masing stasiun di Gunung Sinabung.

## GEOLOGI REGIONAL

Gunungapi Sinabung adalah gunungapi stratovolkano berbentuk kerucut, dengan tinggi puncaknya 2460 mdpl. Lokasi Gunungapi Sinabung secara administratif masuk ke dalam Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara. Secara geografis, terletak pada posisi 3°10' Lintang Utara dan 98°23,5' Bujur Timur.

Gunung yang memiliki jenis stratovolkano seperti Gunung Sinabung harus di waspandai karena gunungapi ini tinggi mengerucut, dibangun oleh banyak lapisan (strata) dari lava mengeras, tephra, batu apung dan abu vulkanik. Jenis letusan gunungapi ini bersifat eksplosif. Lava yang mengalir dari stratovolkano biasanya dingin dan mengeras sebelum menyebar jauh karena viskositas yang tinggi. Magma

yang membentuk lava dan bersifat asam ini mengandung silika tingkat menengah hingga tinggi.



Gambar 2. Peta Geologi menunjukkan tahapan kegiatan Gunung Sinabung

Selama pertumbuhan kubah, runtuhnya sebagian dari kubah lava dapat menghasilkan aliran piroklastik (blok dan abu mengalir). Relatif keruntuhan besar-besaran dari bangunan vulkanik dapat menghasilkan ledakan lateral sebelum longsoran piroklastik, seperti yang diamati pada tahun 1997 di gunung berapi Soufriere Hills, Montserrat (Iguchi, M. et al., 2012).

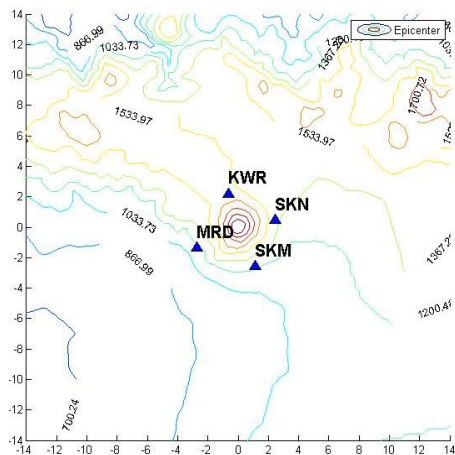
## DATA DAN METODA

Data yang digunakan adalah data gempa vulkanik Gunung Sinabung pada tahun

2011 s.d Juni 2012 yang selalu diamati secara berkala. Stasiun yang digunakan ada 4 stasiun gempa permanen yang mengelilingi gunung Sinabung yaitu SKN (Sukanalu), KWR (LauKawar), SKM (Sukameriah), dan MRD (Mardinding). Dengan koordinat di tiap stasiun seperti tabel dibawah ini:

Tabel 1. Koordinat 4 Stasiun permanen pengamat Gunung Sinabung

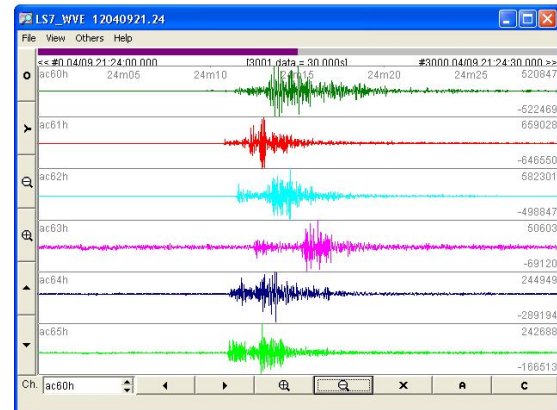
Stasiun	X	Y	Z
SKN	2.439	0.455	-1.465
KWR	-0.64	2.204	-1.467
SKM	1.128	-2.579	-1.301
MRD	-2.279	-1.34	-1.178



Gambar 2. Posisi 4 stasiun dan peta kontur daerah penelitian

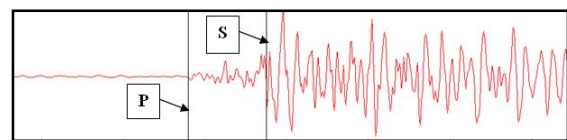
Sebelum mendapatkan *focus*, yang dilakukan terlebih dahulu adalah pemilihan data gempa (*picking*) dengan menggunakan program *LS7\_WVE*. Berikut

adalah hasil rekaman gempa pada salah satu *event* 09-04-2012.



Gambar 3. Rekaman gempa vulkanik 4 stasiun

*Picking* dilakukan untuk mencari nilai waktu tiba gelombang P beda waktu tiba gelombang P dan S (S-P).



Gambar 4. Contoh *picking* pada salah satu even gempa

Data yang didapat digunakan untuk mencari persebaran hiposenter, sinar gelombang seismik, kurva *travel time*, dan karakteristik frekuensi. Berikut adalah penjabaran hasil dari penelitian:

#### a. Persebaran Episenter dan Hiposenter

Persebaran episenter yang dilihat secara vertikal, membutuhkan data untuk melihat kontur topografi tinggi rendahnya lokasi penelitian, letak stasiun berdasarkan koordinat 4 stasiun permanen di Gunung Sinabung, dan juga persebaran episenter

atau persebaran titik-titik gempa yang tersebar di sekitar Gunung Sinabung.

Untuk mendapatkan hasil persebarannya, dibutuhkan koordinat kontur, stasiun, dan hiposenter. Diproses menggunakan software *Origin 7.0*.

Hasil keluaran dari data yang telah di jalankan, didapat persebaran episenter Gunung Sinabung dengan 4 stasiun mengelilingi Gunung Sinabung, dan juga persebaran titik gempa yang berjumlah sekitar 500 gempa vulkanik juga mengelilingi Gunung Sinabung.

### **b. Kurva *Travel Time***

Pada penentuan kurva *travel time*, data yang dibutuhkan adalah nilai jarak episenter (*epicenter distance*) dan *travel time* (waktu) dan dimuat kedalam *distance\_delay.txt*.

Data *travel time* yang digunakan adalah selisih data *travel time* gelombang P (*tp*) dengan waktu gempa yang sebenarnya (*to*) yang hasilnya adalah data waktu hasil pengamatan (*tobs*).

Untuk nilai jarak (*R*) didapatkan dari hubungan antara koordinat hiposenter dan koordinat masing-masing stasiun. Pembacaan untuk kurva *travel time* sendiri merupakan hubungan antara jarak dan waktu, kemudian didapat kecepatan waktu

tempuh (*travel time*). Diproses menggunakan *Matlab 2011*.

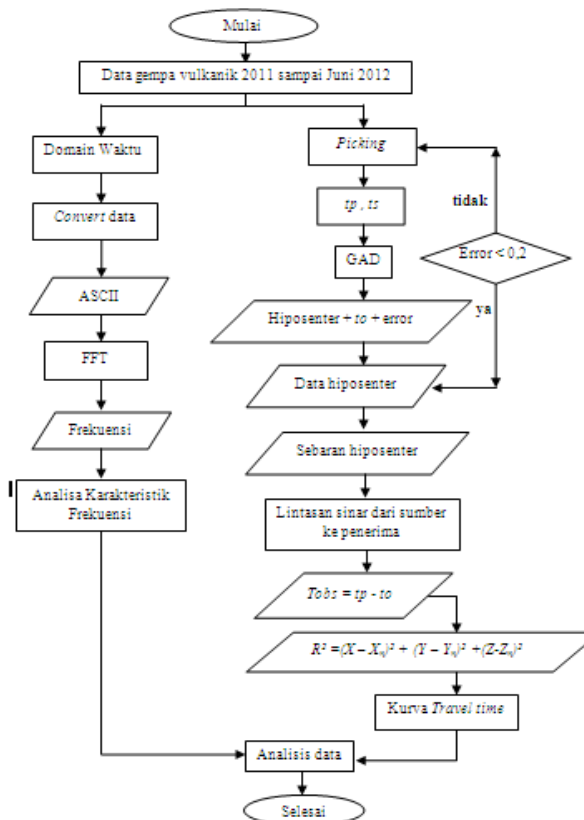
### **c. Analisa Karakteristik Frekuensi**

Untuk analisa karakteristik frekuensi pada tiap stasiun pengamatan Gunung Sinabung pembacaan hasil berupa domain frekuensi. Tetapi data yang di dapat masih berupa domain waktu. Jadi, metode yang tepat adalah menggunakan metode *Fourier Transform* (FT).

Sebelum mendapatkan data yang berdomain waktu, data pengamatan sinyal gelombang gempa permenit ini di ubah ke format ASCII agar bisa di baca oleh software yang digunakan untuk melakukan FFT yaitu *Origin 7.0*.

Setelah didapatkan data ASCII, lalu *import* data ke software *Origin 7.0* untuk membaca rekaman gempa yang telah di tentukan. Setelah di *import*, muncul data domain waktu dan amplituda pada tiap stasiun.

#### d. Diagram Alir



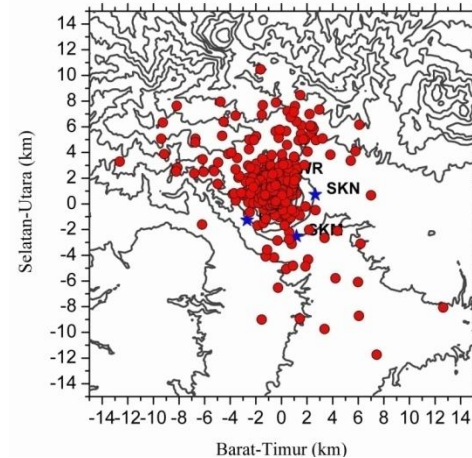
Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Distribusi Hiposenter Gempa dan Mekanisme Vulkanik

Persebaran hiposenter untuk gempa vulkanik Gunung Sinabung sangat terlihat adanya aktifitas desakan fluida dari bawah menuju permukaan sehingga menghasilkan retakan (*fracture*) yang menyebabkan terjadinya gempa vulkanik. Gempa-gempa yang terjadi pada umumnya berada di bawah kawah yang aktif, bahwa gempa vulkanik pada Gunung Sinabung terkonsentrasi di kedalaman sekitar 0 s.d 6 km dpl.

Distribusi Hiposenter Gunung Sinabung Januari 2011-Juni 2012



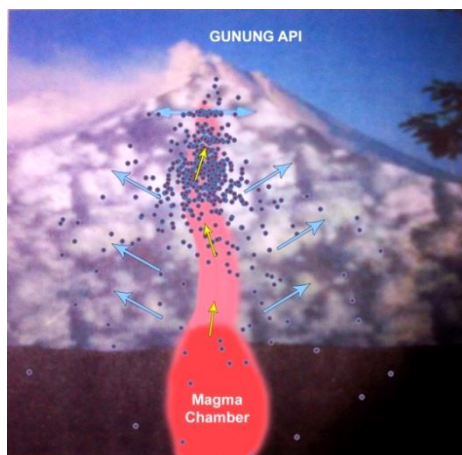
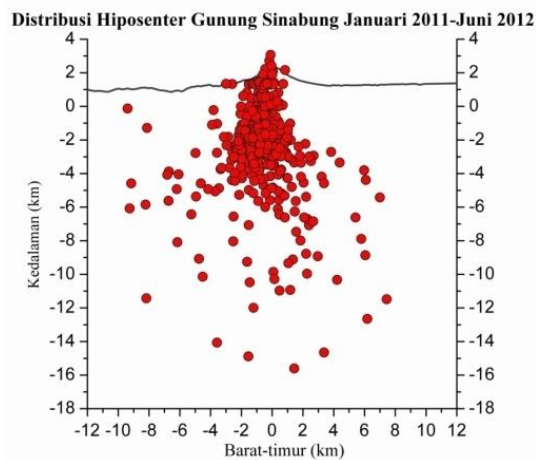
Gambar 6. Episenter gempa vulkanik gunung sinabung

Berdasarkan gambar di bawah ini, bisa di asumsikan mekanisme vulkanik nya terletak di *magma chamber* pada Gunung Sinabung yang dilihat dari barat-timur dan utara-selatan yaitu pada kedalaman sekitar 12 km dpl. Selebihnya adalah rekahan-rekahan yang terjadi karena desakan magma yang menyebabkan gempa bumi sehingga terekam oleh seismometer.

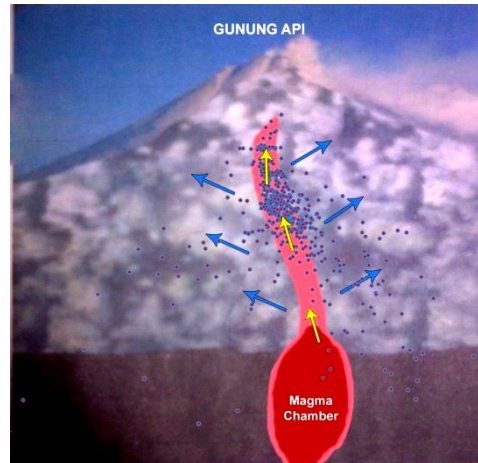
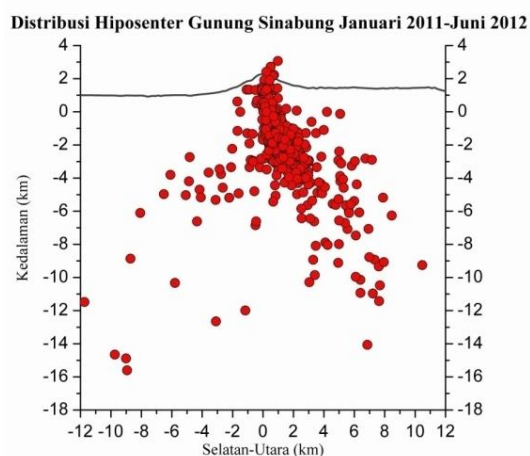
Asumsi model mekanisme vulkanik ini didasari oleh distribusi hiposenter yang ada pada Gunung Sinabung. Pada daerah yang diluar lingkaran retakan, itu merupakan daerah *low frequency*, dimana daerah ini berasosiasi dengan retakan-retakan dan menjangkau kedalaman yang dalam, sehingga frekuensi yang terekam rendah. Sedangkan pada daerah yang masuk kedalam lingkaran *magma camber*, termasuk daerah *high frequency* dimana pada daerah tersebut memiliki nilai frekuensi  $>1$  Hz, karena memiliki



kedalaman yang dangkal sehingga frekuensi nya lebih besar.



Gambar 7. Hiposenter (atas) dan model asumsi mekanisme vulkanik (bawah) Gunung Sinabung Barat-timur



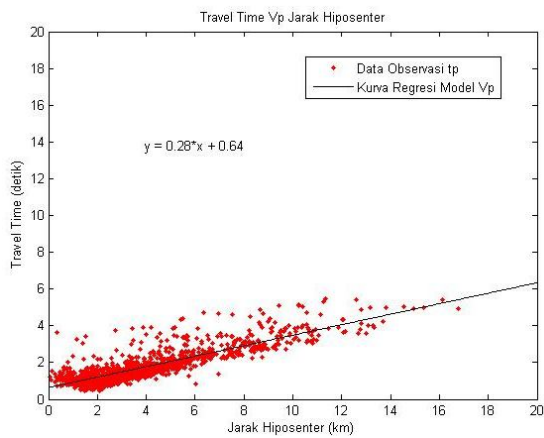
Gambar 8. Hiposenter (atas) dan model asumsi mekanisme vulkanik (bawah) Gunung Sinabung Utara-Selatan

### b. Penentuan Kurva *Travel Time*

Penentuan kurva kecepatan waktu tempuh (*travel time*) adalah dengan menggunakan hubungan waktu tempuh pengamatan (*observed*) dengan jarak episenter. Dimana pada sumbu *y* adalah *travel time* dari gelombang P, yaitu waktu yang dibutuhkan gelombang P dari sumber menuju seismometer atau stasiun. Sumbu *x* merupakan jarak dari sumber (hiposenter) menuju seismometer atau stasiun.

Penentuan *travel time* dengan menggunakan metode Wadati, dimana data yang diperlukan adalah *tp* dan *ts-tp*, *tp* sebagai *traveltime* (waktu) dan *ts-tp* sebagai *hypocenter distance* (jarak). Persamaan hasil regresi linear dapat dinyatakan sebagai  $y = Ax + B$ , perpotongan antara garis sumbu ordinat akan memberikan nilai *origin time* (*to*) untuk metode dasarnya yaitu metode Wadati,

untuk penentuan kurva *traveltime* adalah sebagai kecepatan dari hiposenter.



Gambar 9. Kurva *travel time* rata-rata

Gambar. 9 menunjukkan nilai kecepatan gelombang P rata-rata dari semua stasiun, persamaan untuk menentukan kecepatan dari 4 stasiun seperti berikut:

$$\frac{1}{v} = \frac{t}{x} = \frac{6 \text{ s}}{20 \text{ km}}$$

$$v = \frac{20 \text{ km}}{6 \text{ detik}} = 3,33 \text{ km/s}$$

Tiap kurva memiliki nilai A yang berbeda-beda, makin besar nilai kemiringan/gradien maka semakin lama waktu tempuhnya, jadi jarak membesar sedikit butuh waktu yang lebih lama. Untuk gradien landai atau nilai dari kemiringannya kecil, berarti jarak semakin besar, perubahan waktu tempuhnya tidak sebesar gradien tinggi.

SKN nilai kemiringan  $A = 0,265^\circ$

KWR nilai kemiringan  $A = 0,256^\circ$

SKM nilai kemiringan  $A = 0,306^\circ$

MRD nilai kemiringan  $A = 0,253^\circ$

Dari persamaan regresi linier, untuk menentukan nilai kecepatan tiap stasiun bisa menggunakan  $v=1/a$ , dimana a adalah gradien, sehingga kecepatan bisa dikatakan berbanding terbalik dari gradien.

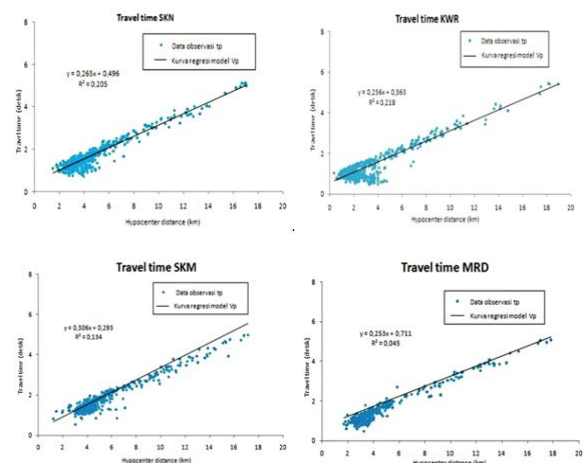
Sehingga kecepatan dari tiap stasiun didapatkan seperti berikut:

$$v_{SKN} = \frac{1}{0,265} = 3,78 \text{ km/s}$$

$$v_{KWR} = \frac{1}{0,256} = 3,90 \text{ km/s}$$

$$v_{SKM} = \frac{1}{0,306} = 3,27 \text{ km/s}$$

$$v_{MRD} = \frac{1}{0,253} = 3,92 \text{ km/s}$$



Gambar 10. Kurva *Travel time* SKN, KWR, SKM, MRD

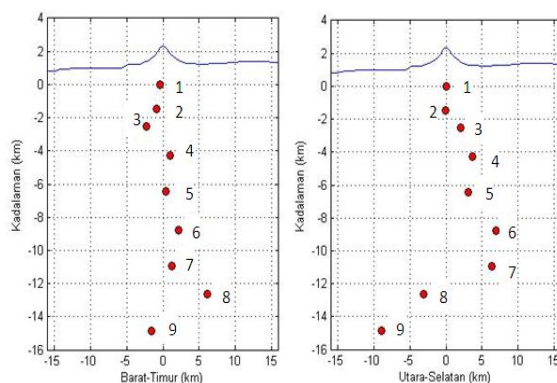
Pada tiap lapisan memiliki kecepatan yang berbeda-beda. Dimana pada saat sumber menuju ke penerima, tidak selalu lurus dan mulus, pasti terjadi gangguan fluida atau benda-benda serta zat-zat yang terkandung didalam tubuh Gunung Sinabung, yang menyebabkan proses kecepatan menuju ke

penerima terganggu sehingga nilai dari kecepatan semuanya berbeda.

### c. Analisis karakteristik frekuensi

Dari nilai 9 sumber gempa pada gunung Sinabung, maka perlu juga untuk mengetahui karakteristik frekuensi pada setiap lapisan. Pada dasarnya, untuk frekuensi dominan terbesar pada gempa vulkanik Gunung Sinabung mencapai sekitar 2,18 Hz.

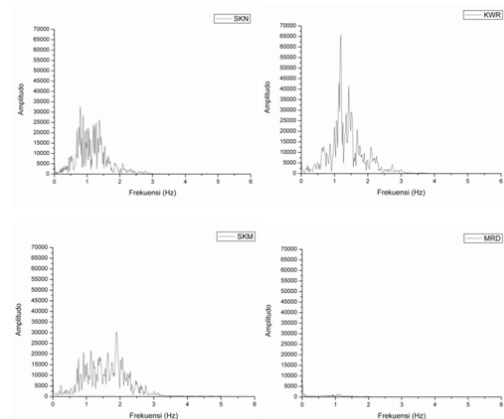
Dibawah ini adalah episenter dan hiposenter sumber gempa yang digunakan untuk menentukan karakter frekuensi pada gunung Sinabung.



Gambar 11. Hiposenter pilihan Gunung Sinabung

Untuk karakteristik frekuensi pada Gunung Sinabung sendiri sudah memenuhi persyaratan untuk frekuensi gempa vulkanik, berikut ini adalah analisis karakteristik frekuensi di tiap lapisan pada Gunung Sinabung:

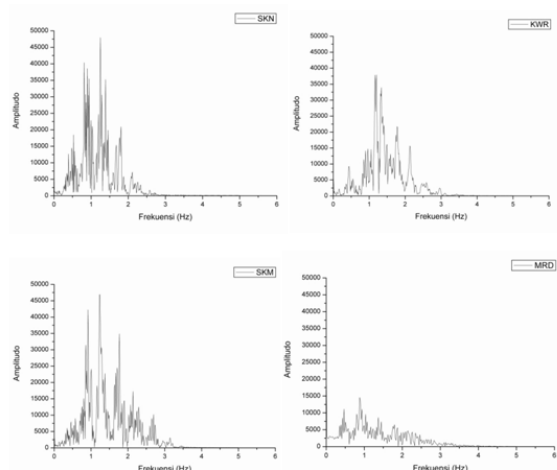
#### a. Ketinggian 2 s.d 0 km diatas permukaan



Gambar 12. Karakteristik frekuensi tiap stasiun pada ketinggian 2-0 km

*Event 1* yang digunakan adalah 1204100108 dengan kedalaman 1.46 km dari puncak gunung. Nilai frekuensi dominan pada stasiun SKN=0,79 Hz, KWR=1,19 Hz, SKM=1,89 Hz, dan MRD=1,06 Hz.

#### b. Kedalaman 0 s.d 2 km dpl



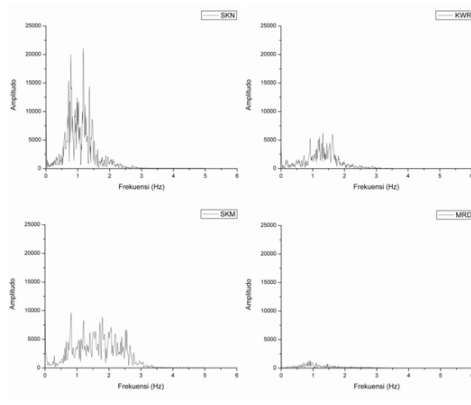
Gambar 13. Karakteristik frekuensi tiap stasiun pada kedalaman 0-2 km

Yang digunakan *event 2* adalah 1205190902 dengan kedalaman -0,002.



Pada stasiun SKN memiliki nilai frekuensi dominan sebesar 1,24 Hz, KWR =1,15 Hz, SKM=1,24 Hz, dan MRD = 0,87 Hz.

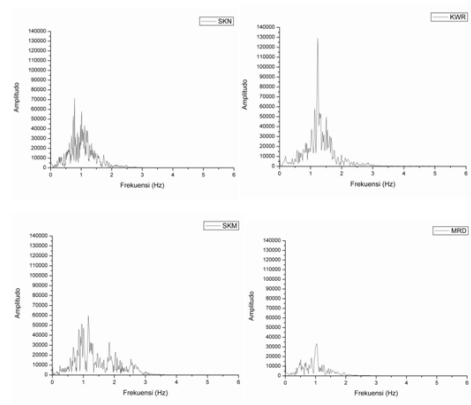
c. Kedalaman 2 sampai 4 km dpl



Gambar 14. Karakteristik frekuensi tiap stasiun pada kedalaman 2-4 km

Pada *event* 3 menggunakan 1204171746 dengan kedalaman -2.537 km. Nilai frekuensi dominan pada stasiun SKN=1.17 Hz, KWR= 1.31 Hz, SKM=0,8 Hz, dan MRD= 0,89 Hz.

d. Kedalaman 4 sampai 6 km dpl

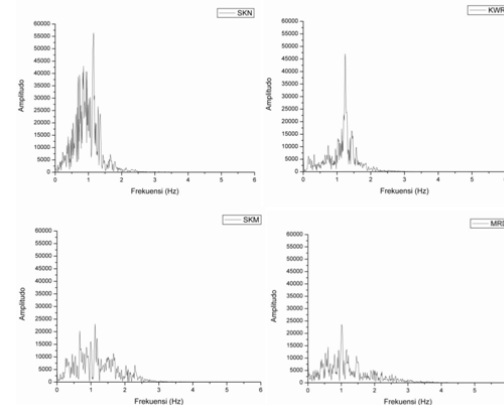


Gambar 15. Karakteristik frekuensi tiap stasiun pada kedalaman 4-6 km

Pada *event* 4 menggunakan 1204081601 dengan kedalaman yang digunakan adalah -4,257 km.

Frekuensi dominan pada stasiun SKN=0,78 Hz, KWR=1,23 Hz, SKM=1,16 Hz, dan MRD=1.04 Hz.

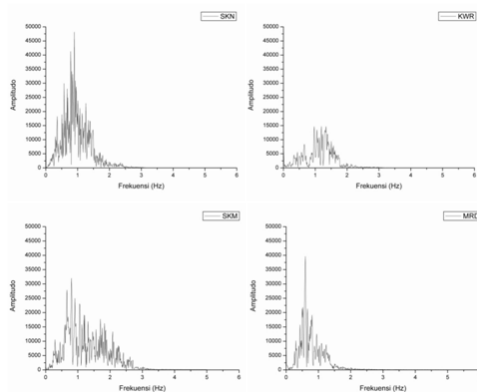
e. Kedalaman 6 sampai 8 km dpl



Gambar 16. Karakteristik frekuensi tiap stasiun pada kedalaman 6-8 km

*Event* 5 yang digunakan adalah 1205010726 dengan kedalaman -6.442 km. Frekuensi dominan pada stasiun SKN=1.14 Hz, KWR=1.24 Hz, SKM=1.12 Hz, dan MRD=1.01 Hz.

f. Kedalaman 8 sampai 10 km dpl

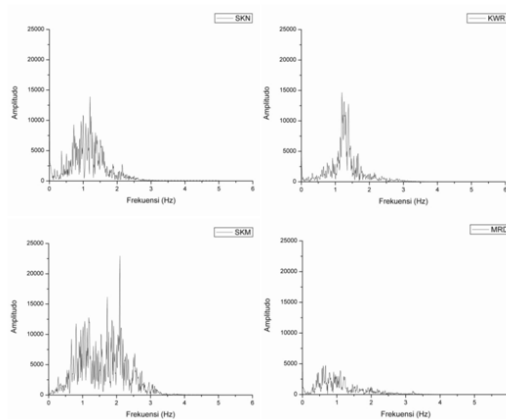


Gambar 17. Karakteristik frekuensi tiap stasiun pada kedalaman 8-10 km

Untuk *event* 6 yang digunakan adalah 1103012259 dengan menggunakan

kedalaman -8,776 km. Frekuensi dominan pada stasiun SKN=0,89 Hz, KWR=1,33 Hz, SKM=0,80 Hz, dan MRD=0,60 Hz.

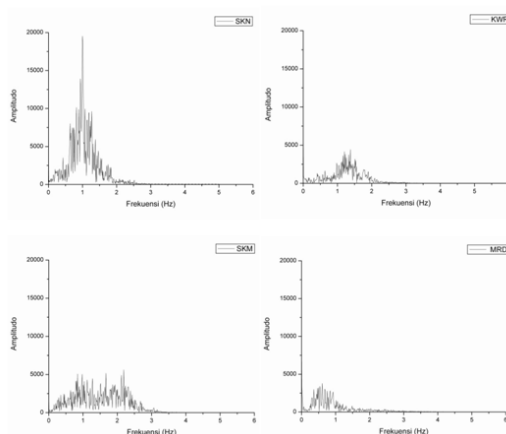
g. Kedalaman 10 sampai 12 km dpl



Gambar 18. Karakteristik frekuensi tiap stasiun pada kedalaman 10-12 km

*Event 7* yang digunakan 1101200845 dengan kedalaman -10,929 km. Frekuensi dominan pada stasiun SKN=1,2 Hz, KWR=1.18 Hz, SKM=2,1 Hz, dan MRD=0,67 Hz.

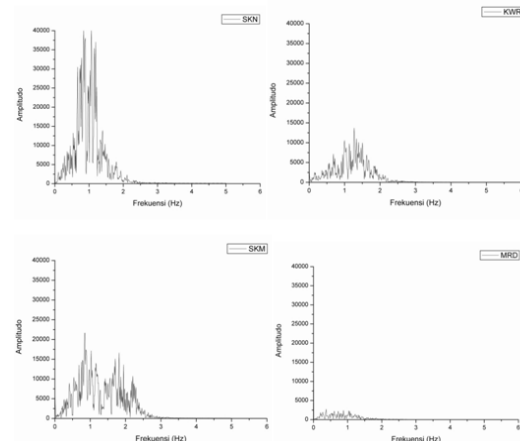
h. Kedalaman 12 sampai 14 km dpl



Gambar 19. Karakteristik frekuensi tiap stasiun pada kedalaman 12-14 km

*Event 8* menggunakan 1101132236 dengan kedalaman -12,648 km. Frekuensi dominan pada stasiun SKN=1 Hz, KWR=1.38 Hz, SKM=2,18 Hz, dan MRD=0,60 Hz.

i. Kedalaman 14 sampai 16 km dpl



Gambar 20. Karakteristik frekuensi tiap stasiun pada kedalaman 14-16 km

*Event 9* yang digunakan adalah 1112150346 dengan kedalaman -14,886 km. Frekuensi dominan pada stasiun SKN=1,06 Hz, KWR=1,26 Hz, SKM=0,84 Hz, dan MRD=0,36 Hz.

Nilai frekuensi terkecil adalah pada stasiun SKM, bahwa SKM memiliki frekuensi yang paling dominan lebih kecil di bandingkan stasiun lainnya, tetapi SKM memiliki *range* frekuensi yang lebih lama dibandingkan gempa-gempa yang lain. Sedangkan frekuensi yang terbesar adalah pada stasiun SKN, yang nilai frekuensi nya dominan lebih besar dibandingkan frekuensi pada stasiun lainnya.

Masing-masing sumber gempa di tiap lapisan memiliki karakteristik frekuensi yang berbeda yang bisa dilihat dari nilai frekuensi minimum, frekuensi puncak sampai dengan frekuensi maksimum. Pergerakan gempa pada tiap lapisan melewati berbagai macam jenis medium yang semua itu berbeda-beda. Dibuktikan dengan perbedaan *range* frekuensi tiap stasiun juga yang berbeda.

Pengaruh medium pada penjalaran gelombang ke stasiun gempa dianggap sama karena jarak hiposenter lebih besar dibandingkan jarak stasiun. Jadi perbedaan frekuensi di setiap stasiun di anggap berasal dari pengaruh kondisi batuan di bawah stasiun tersebut.

## KESIMPULAN

### 6.1 Kesimpulan

Adapun yang bisa disimpulkan dari penelitian ini ialah:

1. Arah gempa vulkanik dalam jangka waktu 1 tahun 6 bulan lebih condong ke arah stasiun Laukawar (KWR) dan stasiun Mardinding (MRD).
2. Gempa vulkanik pada Gunung Sinabung terkonsentrasi di kedalaman sekitar 0 s.d 6 km bawah permukaan laut.
3. Mekanisme vulkanik terletak di *magma chamber* pada Gunung Sinabung yang dilihat dari barat-timur dan utara-

selatan yaitu pada kedalaman sekitar 12 km dpl.

4. Hasil kecepatan rata-rata hiposenter dari kurva *travel time* adalah sebesar 3,33 km/s.
5. Untuk kecepatan tiap stasiun, stasiun SKM memiliki gradien yang paling tinggi dan yang paling kecil adalah gradien pada stasiun MRD.
6. Untuk frekuensi dominan nya dari nilai frekuensi terkecil sampai terbesar adalah 0,28 Hz s.d 2,18 Hz.

## DAFTAR PUSTAKA

- Iguchi, M. et al., 2012, *Methods for Eruption Prediction and Hazard Evaluation at Indonesian Volcanoes*. Journal of DisasterResearch Vol.7 No. 1, 2012.
- Santoso, M.S., S. Wikartadipura, dan A.D Sumpena. 1982. *Laporan Kegiatan Pemeriksaan Puncak dan Pemetaan Daerah Bahaya G. Sinabung, Sumatra Utara*.
- Siswowidjojo, S. 1995. *Seismologi Gunungapi, Analisa Gempa dan Hubungannya dengan Tingkat Kegiatan Gunungapi*, Direktorat Vulkanologi, Bandung.
- Triyoso, W. 1991. *Konsep-Konsep Dasar Seismologi (Suatu Pendahuluan)*, GM-ITB.
- Widiantoro, S.2000. *Tomografi Geofisika (GF-435). Diktat, Edisi ke-1: Institut Teknologi Bandung, Bandung*.